上海大金山岛植被分类与制图——基于网格化清查方法

许洺山[1]，朱晓彤[1]，王万胜[2]，杜运才[2]，汪彦颖[2]，梁启明[1]，郑丽婷[1]，阎恩荣[1*]

（1. 浙江普陀山森林生态系统定位观测研究站，上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室，生态与环境科学学院，华东师范大学，上海 200241；
2. 上海市金山区海洋海塘管理所，上海 201508）

摘要：网格化清查方法有助于准确诊断一个地区的植被性质，并为探索植被分类方法提供支持。该研究以上海大金山岛为对象，借助航拍影像等间距地将其划分为 140 个清查网格（40 m × 40 m），按照统计样方法逐网格调查植物群落特征，综合运用列表法和双向指示种法，进行植被分类并绘制现状植被图。按照新修订的植被三级分类系统，一级单位根据植被型，大金山岛植被划分为落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、常绿阔叶林、落叶阔叶灌丛、常绿落叶阔叶混交灌丛、常绿阔叶灌丛和草丛。二级单位根据优势种和植物区系特征，可划分出 15 种群丛或群落类型。三级单位根据群落年龄和外貌可划分为 22 种群落类型。以上结果表明，大金山岛不仅是上海市物种多样性最高的区域，也拥有华东海岛最典型、最多样的自然半自然森林群落。就植被状态而言，地带性森林群落处于演替中后期，但少数次生植被处于演替前期，且面临着猴群干扰导致的植被发育停滞不前等生态问题。关于植被分类方法，网格化清查方法可充分揭示植物群丛连续性中包含间断性和过渡性群落的现象。

关键词：群落多样性，统计样方法，物种组成，植被群丛，植被性质
中图分类号：Q948　　**文献标识码：**A　　文章编号：

Vegetation classification and mapping of Dajinshan Island: A grid inventory-based approach

XU Mingshan[1], ZHU Xiaotong[1], WANG Wansheng[2], DU Yuncai[2], WANG Yanying[2], LIANG Qiming[1], ZHENG Liting[1], YAN Enrong[1*]

(1. *Putuo Forest Ecosystem Research and Observation Station, The Shanghai Key Lab for Urban Ecological Processes and Eco-Restoration, School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University*, 200241, Shanghai, China; 2. *Jinshan Ocean and Coast Management Institute*, 201508, Shanghai, China)

收稿日期：2020-11-30
基金项目：国家自然科学基金（31770467）；大金山岛植被等岛陆调查项目（17-60129）[Supported by General Program of National Natural Science Foundation of China (31770467) ; Program of Investigation of Vegetation Resources on Dajinshan Island (17-60129)]。
作者简介：许洺山（1988-），博士研究生，研究方向为岛屿生物地理学，（E-mail）xums0123@163.com。
***通信作者：**阎恩荣，博士，教授，研究方向为功能生态学和海岛生态学，(E-mail) eryan@des.ecnu.edu.cn。

Abstract: The grid inventory-based approach is helpful for diagnosing vegetation properties of a given region, and provides support to explore the methods of vegetation classification. In this study, Dajinshan Island in Shanghai city was selected to conduct vegetation classification and vegetation mapping according to the methods of Tabulation and Two-Way Indicator Species Analysis. We divided this island into 140 regular grids (40 m × 40 m) based on an unmanned aerial vehicle image, and then surveyed community composition by using the Braun-Blanquet method and quadrat-based census across the grids. Under the newly revised three-level vegetation classification system, the fist level of classification (i.e., vegetation type) included deciduous broad-leaved forest, evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, evergreen broad-leaved forest, deciduous broad-leaved shrubland, evergreen and deciduous broad-leaved mixed shrubland, evergreen broad-leaved shrubland, and grassland. According to the dominant species and floristic characteristics, the second level of classification included 15 types of association or community. The third level included 22 types of community based on physiognomy and community age. These results indicate that Dajinshan Island is not only a species-richest region in Shanghai, but also possesses the most typical and diverse natural or semi-nature forest communities across islands in eastern China. In terms of vegetation status, zonal forest communities develop to the middle and late successional stages, but a few secondary vegetation still stop in the early successional stage, which encounter to the ecological problems such as development stagnation caused by monkey disturbance. With respect to the vegetation classification methods, the grid inventory-based technique can fully reveal the phenomena of intermittent and transitional communities in the continuity of flora.

Key words: Community diversity, the Braun-Blanquet method, species composition, vegetation association, vegetation properties

植被分类对认识植被性质和群落结构特征与环境关系等非常重要（Jennings et al., 2009；宋永昌，2017）。长期以来，植被分类存在“连续性”和“间断性”的争论，主要形成了以 Clements 为代表的机体论学派（organismic school）和 Gleason 为代表的个体论学派（individualistic school）。直至当前，各地的植被分类方案还未就群落边界和属性等问题达成一致（田广红等，2015）。不过，总体而言，诸如中国植被分类方案（80 年分类方案）所提出，植被分类遵循植物群落学，即以植物群落本身特征作为分类依据，同时兼顾群落间的生态关系。宋永昌等（2017）指出，植被分类的高级单位以生态外貌原则为主，而中、低级单位则注重种类组成和群落结构，对于复杂的植被，必须兼顾外貌、优势种和特征种，但无论从理论还是实践出发，植被分类应坚持生态学原则（丁涛等，2011；阎恩荣等，2017）。

无论如何，植被调查的全面性和完整性决定了分类的准确性。但是，对一个地区的植被进行全面清查是不可能的。通常，因缺乏详细的植被调查资料，在植被分类中，往往不能全面反映群落类型的多样性。同时，一般采用的典型样地抽样调查往往基于研究者的主观判断，若经验不足，可能会划分出错误的植被类型（张晓丽，2007；杨筑筑等，2017）。更为重要的是，由于缺乏充分的植被样地调查资料，也导致植被分类结果无法客观评价具体群落类型的代表性和典型性（孙小伟等，2018；陈惠君等，2019）。

海岛具有清晰的边界和较小的面积等自然属性，为植被的网格化全面清查提供了便利，从而是研究植物群落“连续性”和“间断性”关系的理想对象，有助于全面揭示一个具体地点植物群落的多样性，并准确划分群落类型。当前，还没有应用网格化清查方法研究整个海

岛植被分类的案例，尤其缺乏基于连续植物群落划分植被和群落类型的工作（蔡红燕等，2016；许洺山等，2018）。

大金山岛是上海地区野生植物资源与乡土植物基因最为丰富的区域，拥有上海唯一的地带性自然植被—常绿落叶阔叶混交林，该植被类型在北亚热带区域具有典型性和代表性（杨永川等，2002）。本研究基于无人机遥感影像，将大金山岛划分为小班网格，结合典型样地法和统计样方法对全岛植被进行连片调查，并采用简化的植被三级分类系统：高级单位结合了新分类系统中的植被纲和植被型组，低级单位采用群丛，其次考虑演替阶段群落的差异，即群落的年龄问题，对大金山岛植被进行分类并制图。此外，针对大金山岛的植被现状，提出切实的保护方案。本研究旨在探讨植被分类的“连续性”和“间断性”问题，也为大金山岛的植被保护与管理提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

大金山岛（121°24′25″ E、30°41′42″ N）位于杭州湾东北部，距上海市金山嘴 6.2 km，是金山三岛海洋生态核心保护区最大的海岛（靳亚丽等，2017）。大金山岛外部形态呈菱形，中部宽阔，西部狭窄，最长处 963 m，最宽处 437 m，陆域面积约 0.23 km^2，海岸线长 2 390 m，最高海拔为 103.4 m。大金山岛是上海市海拔最高的基岩岛，岩性以酸性石英斑岩为主，其中夹杂有流纹岩、英安岩、火山角砾岩等。大金山岛属亚热带海洋性气候，主要受东亚季风和太平洋暖湿气团影响，温暖湿润，四季分明，年均温度和降雨量分别为 16 ℃和 1 020 mm（朱春玲等，2008）。土壤为褐色山地黄壤，pH 值为 4.5~4.7。大金山岛自 1978 年驻岛部队撤离后，植被逐渐恢复并进入次生演替阶段。1993 年，建立上海市金山三岛海洋生态自然保护区，由于长期保护，大金山岛自然植被生长良好，植物资源丰富（王万胜，2017）。

1.2 植被调查

2017 年 7-10 月，全面开展大金山岛植被调查。首先，根据高精度的无人机影像，规则地、等间距地将全岛划分为 140 个网格（40 m × 40 m）（图 1）。其次，采用法瑞学派的典型样地法（Braun-Blanquet）记录每个网格中的植物群落名称、中心位置坐标、群落垂直结构、物种组成、多优度-聚集度、多盖度等级和平均高度等。最后，选取 13 个典型植物群落建立固定样地（图 1），森林样地面积为 20 m × 20 m，灌丛面积为 10 m × 10 m，按照统计样方法（quadrat-based census），调查样地内所有株高大于 0.5 m 的木本植物，记录胸径、树高、枝下高、叶下高、冠幅等，典型群落的基本特征见表 1。全岛共发现种子植物 338 种，隶属 105 科，238 属。

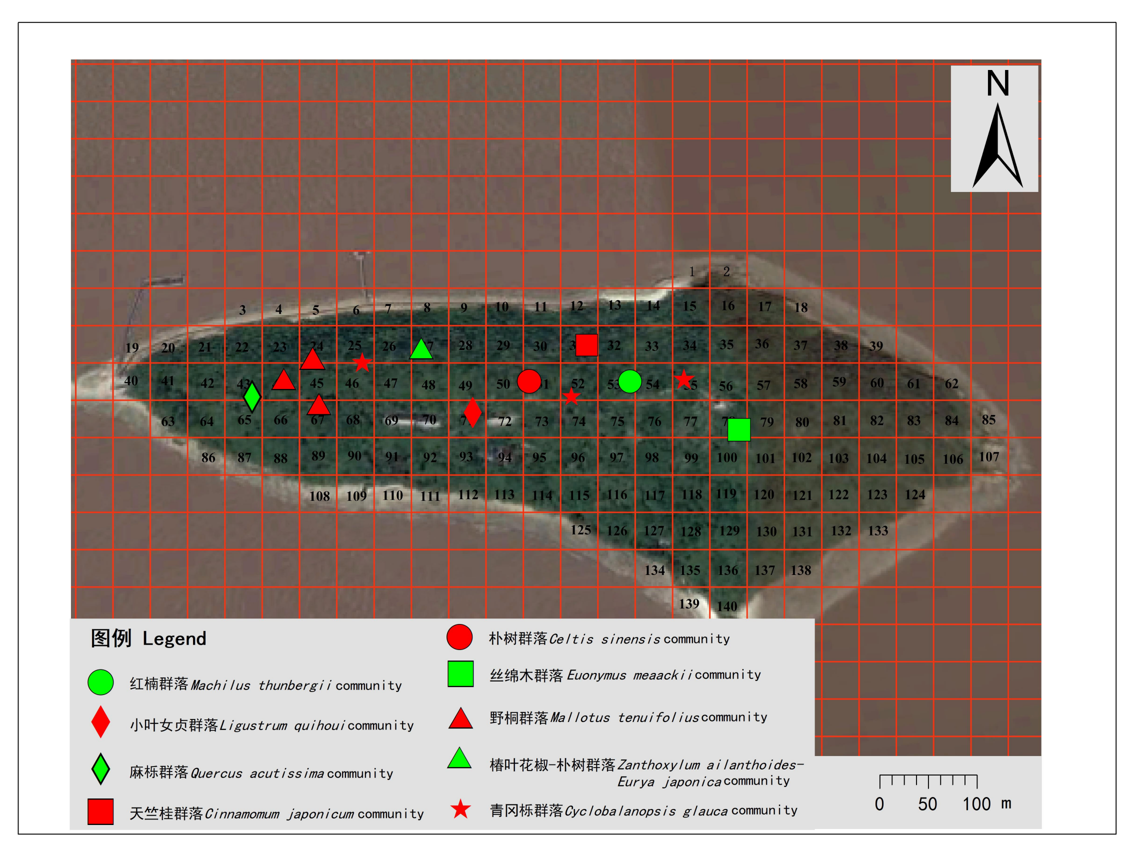


图 1 大金山岛 140 个植被网格及 13 个典型植物群落

Fig.1 Distribution of 140 vegetation grids and 13 typical plant communities on Dajinshan Island

表 1 大金山岛 13 个典型植物群落的基本特征

Table 1 Characteristics of 13 typical plant communities on Dajinshan Island

植物群落 Plant community	纬度 Latitude (°)	经度 Longitude (°)	面积 Area (m^2)	乔木层平均高度 Average height of tree layer (m)	灌木层平均高度 Average height of shrub layer (m)	物种密度 Species density (株/m^2)	物种丰富度 Species richness	植被类型 Vegetation type
青冈栎群落 1 *Cyclobalanopsis glauca* community 1	30°41′34.40″	121°25′00.23″	20×20	6.05	2.41	0.77	17	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest
青冈栎群落 2 *Cyclobalanopsis glauca* community 2	30°41′31.75″	121°25′09.17″	20×20	9.09	2.28	0.17	8	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest
青冈栎群落 3 *Cyclobalanopsis glauca* community 3	30°41′31.29″	121°25′13.65″	20×20	5.52	2.37	0.55	10	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest
天竺桂群落 *Cinnamomum japonicum* community	30°41′31.42″	121°25′12.71″	10×20	5.83	2.89	0.39	7	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest
麻栎群落 *Quercus acutissima* community	30°41′33.37″	121°24′56.01″	10×10	6.67	2.22	0.34	28	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest
野桐群落 1 *Mallotus tenuifolius* community 1	30°41′34.10″	121°24′56.94″	20×20	5.51	2.23	0.36	13	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest
野桐群落 2 *Mallotus tenuifolius* community 2	30°41′34.57″	121°24′58.71″	20×20	5.96	2.28	0.48	21	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest
野桐群落 3 *Mallotus tenuifolius* community 3	30°41′32.02″	121°24′58.72″	10×40	5.55	2.00	0.54	20	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest
椿叶花椒-柃木群落 *Zanthoxylum ailanthoides-Eurya japonica* community	30°41′34.23″	121°25′03.41″	20×20	6.35	2.34	0.61	18	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest
朴树群落 *Celtis sinensis* community	30°41′32.40″	121°25′07.65″	20×20	7.77	2.00	0.42	17	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest
小叶女贞群落 *Ligustrum quihoui* community	30°41′31.47″	121°25′05.69″	10×10	5.32	2.36	0.36	11	常绿灌丛 Evergreen shrubland
红楠群落 *Machilus thunbergii* community	30°41′34.87″	121°25′05.69″	20×20	8.93	2.29	0.21	8	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest
丝绵木群落 *Euonymus maackii* community	30°41′29.25″	121°25′16.12″	20×20	6.06	2.31	0.37	15	落叶灌丛 Deciduous shrubland

1.3 植被分类

首先，计算 13 个典型植物群落的重要值，其中，物种相对盖度用相对胸高断面积表示（叶涛等，2014），具体计算如下：

重要值=（物种相对多度+相对盖度+相对树高）/3×100%　　　　（1）

其次，对于典型样地法获得的数据，将多优度-聚集度（5 级）量化为相对重要值，每级占 20%。在 140 个样地中，按群落的垂直结构分为乔木层、灌木层、草本层，计算各层内物种的重要值，得到样地水平上的物种重要值矩阵。

最后，结合群落特征，按 Ellenberg 列表法进行植被分类，同时结合双向指示种分析法划分群落类型（张峰和张金屯，2000；陶楚等，2014），因涉及 140 个样地，文中仅列出 13 个典型植物群落样地木本植物种的重要值排序(包括乔木层和灌木层)，详见表 2。

1.4 植被制图

植被制图指按照一定的群落生态学原理和方法，将一个地区的植被分布状况按比例绘制成图，它能够揭示植被和环境间的生态关系，反映植被的历史发展进程。现状植被制图以现存植被为对象，将原生群落和代偿群落按一定比例尺绘制成图（宋永昌，2017）。本文根据植物群落的局域坐标，按照植被分类基本单位，根据一定比例尺及各分类单位的布局，确定单位等级。虽然在植被调查时将全岛分为 140 个等间距的网格调查，但实际的群落边界是不规则的，因此在处理群落边界时，参照以无人机拍摄的群落外貌差异，结合实地调查以及地形地貌和明显的道路等，尽可能将低级单位群丛或群落绘制在地图上，并结合实地验证。

表 2 大金山岛 13 个典型植物群落中木本植物的重要值

Table 2 Important values of woody species of 13 typical plant communities on Dajinshan Island

	青冈栎群落 1 *Cyclobalanopsis glauca* Community 1	青冈栎群落 2 *Cyclobalanopsis glauca* Community 2	青冈栎群落 3 *Cyclobalanopsis glauca* Community 3	天竺桂群落 *Cinnamomum japonicum* community	麻栎群落 *Quercus acutissima* community	野桐群落 1 *Mallotus tenuifolius* Community 1	野桐群落 2 *Mallotus tenuifolius* Community 2	野桐群落 3 *Mallotus tenuifolius* Community 3	椿叶花椒-柃木群落 *Zanthoxylum ailanthoides-Eurya japonica* community	朴树群落 *Celtis sinensis* community	小叶女贞群落 *Ligustrum quihoui* community	红楠群落 *Machilus thunbergii* community	丝绵木群落 *Euonymus maackii* community
白檀 *Symplocos paniculata*	0.044	0.195	0.038	0.096	0.048	0.176	0.034				0.028		
臭椿 *Ailanthus altissima*			0.026										
椿叶花椒 *Zanthoxylum ailanthoides*			0.183	0.118			0.030		0.417	0.103	0.240		
楤木 *Aralia elata*											0.181		
豆梨 *Pyrus calleryana*						0.047	0.148				0.053		
海桐 *Pittosporum tobira*								0.279		0.288			
海州常山 *Clerodendrum trichotomum*							0.028				0.030		0.093
红楠 *Machilus thunbergii*								0.140		0.206		0.210	
胡颓子 *Elaeagnus pungens*					0.239		0.129				0.112		
黄连木 *Pistacia chinensis*				0.439									0.136
黄檀 *Dalbergia hupeana*	0.069		0.148		0.262	0.205	0.124				0.063		
柃木 *Eurya japonica*	0.120	0.197	0.047	0.097								0.167	
麻栎 *Quercus acutissima*					0.095		0.133						
牛奶子 *Elaeagnus umbellata*													0.093
朴树 *Celtis sinensis*		0.165	0.027			0.049	0.026			0.115			0.185

青冈栎 *Cyclobalanopsis glauca*	0.109	0.230	0.092	0.055									
桑 *Morus alba*	0.143						0.128		0.167				0.093
石栎 *Lithocarpus glaber*			0.032										
丝绵木 *Euonymus maackii*						0.099			0.250				0.148
算盘子 *Glochidion puberum*						0.135	0.049				0.045		
天仙果 *Ficus erecta*												0.048	
天竺桂 *Cinnamomum japonicum*	0.159	0.065	0.116	0.122	0.239							0.213	
香樟 *Cinnamomum camphora*	0.051												
小蜡 *Ligustrum sinense*		0.098	0.092										
小叶女贞 *Ligustrum quihoui*			0.169		0.048		0.022				0.120	0.130	0.093
盐肤木 *Rhus chinensis*	0.159						0.046						
野桐 *Mallotus tenuifolius*	0.146	0.051	0.030	0.073	0.071	0.168	0.102	0.581	0.167	0.288	0.064	0.233	0.093

2 结果与分析

2.1 植被类型和群落结构特征

大金山岛植被组成中，乔木和灌木主体以落叶树种占优势，常绿阔叶树种在部分地段作为建群种出现（青冈栎和红楠），或在落叶林灌木层成为优势种（柃木），既反映了典型的地带性特征，也表明植被朝演替顶极阶段发展的良好潜能和态势。如表 3 所示，大金山岛植被的高级单位可划分为以下 7 种：落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、常绿阔叶林、落叶阔叶灌丛、常绿落叶阔叶混交灌丛、常绿阔叶灌丛和草丛。根据优势种和植物区系特征，低级单位可划分出 15 种群丛或群落；最后按照演替阶段和群落年龄可划分 22 种群落。

表 3 大金山岛植被类型分类结果

Table 3 Results of vegetation classification of Dajinshan Island

一级单位 First class	二级单位 Second class	三级单位 Third class
植被型 Vegetation type	群丛或群落 Associations/communities	演替阶段群落 Successional community
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	柃木-紫金牛/椿叶花椒+朴树群丛 *Eurya japonica-Ardisia japonica*/*Zanthoxylum ailanthoides* +*Celtis sinensis* association	椿叶花椒群落 *Zanthoxylum ailanthoides* community
		椿叶花椒+朴树群落 *Zanthoxylum ailanthoides*+*Celtis sinensis* community
		朴树+桑群落 *Celtis sinensis*+*Morus alba* community
		朴树群落 *Celtis sinensis* community
	柘木-鸭跖草/丝绵木+黄连木群丛 Cudrania tricuspidata-*Commelina communis*/*Euonymus meaackii*+*Pistacia chinensis* association	丝绵木+野桐群落 *Euonymus maackii*+*Mallotus tenuifolius* community
		丝绵木+野桐幼林 *Euonymus maackii*+*Mallotus tenuifolius* young forest
		黄连木+野桐群落 *Pistacia chinensis*+*Mallotus tenuifolius* community
		黄连木幼林 *Pistacia chinensis* young forest
	麻栎群落 *Quercus acutissima* community	麻栎群落 *Quercus acutissima* community
	黄檀群落 *Dalbergia hupeana* community	黄檀群落 *Dalbergia hupeana* community
	野桐群落 *Mallotus tenuifolius* community	野桐群落 *Mallotus tenuifolius* community
常绿落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest	小叶女贞+野桐群落 *Ligustrum quihoui*+*Mallotus tenuifolius* community	小叶女贞+野桐群落 *Ligustrum quihoui*+*Mallotus tenuifolius* community
	青冈栎+野桐群落 *Cyclobalanopsis glauca*+*Mallotus tenuifolius* community	青冈栎+野桐群落 *Cyclobalanopsis glauca*+*Mallotus tenuifolius* community
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	青冈栎群落 *Cyclobalanopsis glauca* community	青冈栎群落 *Cyclobalanopsis glauca* community
	天竺桂群落	天竺桂群落

	天竺桂群落 *Cinnamomum japonicum* community	天竺桂群落 *Cinnamomum japonicum* community
	红楠群落 *Machilus thunbergii* community	红楠群落 *Machilus thunbergii* community
	樟群落 *Cinnamomum camphora* community	樟群落 *Cinnamomum camphora* community
落叶阔叶灌丛 Deciduous broad-leaved shrubland	小果蔷薇群落 *Rosa cymose* community	小果蔷薇群落 *Rosa cymose* community
常绿落叶阔叶混交灌丛 Evergreen and deciduous broad-leaved mixed shrubland	野桐+海桐群落 *Mallotus tenuifolius*+*Pittosporum tobira* community	野桐+海桐群落 *Mallotus tenuifolius*+*Pittosporum tobira* community
常绿阔叶灌丛 Evergreen broad-leaved shrubland	海桐群落 *Pittosporum tobira* community	海桐群落 *Pittosporum tobira* community
草丛 Grassland	五节芒群落 *Miscanthus floridulus* community	五节芒群落 *Miscanthus floridulus* community
	滨旋花群落 *Calystegia soldanella* community	滨旋花群落 *Calystegia soldanella* community

2.1.1 落叶阔叶林

（1）柃木-紫金牛/椿叶花椒+朴树群丛

落叶阔叶林中，柃木-紫金牛/椿叶花椒+朴树群丛分布面积最大，主要沿山脊线和北坡分布，紫金牛是该群丛草本层的指示种。野桐(*Mallotus japonicus*)多占据该群丛的亚乔木层或灌木层，分布范围较大，在成熟落叶林不能成为乔木层优势种。椿叶花椒和朴树为优势种的群落类型在大金山岛最为典型，根据两者的个体组成比例，可形成 4 种群落类型，其主要特征如下。

①椿叶花椒群落：是大金山岛典型的崩塌地群落，主要分布于山坡基部近海崩塌地，群落内砾石较多。乔木层平均高为 6.5 m，伴生有野桐、山合欢(*Albizia kalkora*)、丝绵木等。灌木层优势种有柘木、算盘子(*Glochidion puberum*)、厚叶石斑木(*Rhaphiolepis umbellata*)、柃木和小叶女贞等，平均高为 3.5 m。林下伴生少量柃木和小叶女贞等，该群落处于演替中后期。②椿叶花椒+朴树群落：集中在北坡边缘，乔木层平均高为 7 m，优势种为椿叶花椒和朴树；灌木层高度为 2.6 m，有柘木、海桐和薜荔(*Ficus pumila*)等；草本层主要有贯众(*Cyrtomium fortunei*)和络石等。③朴树+桑群落：分布面积较小，主要在中部坡面。其分层结构明显，乔木层平均高为 6 m，伴生有白檀和楝(*Melia azedarach*)；灌木层优势树种较多，有胡颓子(*Elaeagnus pungens*)、构树、海州常山(*Clerodendrum trichotomum*)和丝绵木等，平均高为 2.6 m。④朴树群落：是大金山岛典型的地形顶极群落，分布面积最大，主要在东坡及中坡以南，林内湿润并且有基岩裸露。群落处于演替中后期，物种组成多样，乔木层平均高为 6.5 m，混生有野桐、乌桕(*Sapium sebiferum*)等；灌木层主要有楝、金樱子(*Rosa laevigata*)、白檀、构树和小叶女贞等；草本层主要有鸭跖草、龙葵(*Solanum nigrum*)、酢浆草、海金沙、贯众等。

（2）柘木-鸭跖草/丝绵木+黄连木群丛

该群丛主要以黄连木和丝绵木为优势树种形成不同群落类型，在东坡及南坡较为集中，其中鸭跖草是该群丛草本层的指示种。黄连木和丝绵木均为喜光落叶树种，生境适应性强。

根据两者与野桐的不同比例，也可形成 4 种群落类型，其主要特征如下。

①丝绵木+野桐群落：主要分布在岛体中坡和南坡，乔木层伴生椿叶花椒、楝和朴树等，平均高为 6 m；灌木层平均高为 2.5 m，有海州常山、构树、算盘子、小叶女贞等。蛇葡萄 *Ampelopsis sinica*)作为层外伴生种，多呈攀援状缠绕在乔木上；草本层种类较单一，以络石和酢浆草为主。②丝绵木+野桐幼林：是丝绵木+野桐群落的演替前期类型，分布在东坡和南坡。平均高为 3 m，主要物种为丝绵木、野桐、酢浆草、络石、金樱子等。③黄连木+野桐群落：主要分布在山脊坡面上部及南部近海边缘，林内干燥。乔木层优势种为野桐和黄连木，平均高为 7 m，伴生有朴树、构树、丝绵木、柘木等；灌木层有少量青冈栎；草本层有酢浆草、络石、鸭跖草等。④黄连木幼林：分布区较散乱，由于海风干扰，林分发育较慢，处于演替前期。平均高为 5.5 m，优势种为黄连木，伴生有小叶女贞、柘木和薜荔等；草本层有狗牙根(*Cynodon dactylon*)、沿阶草(*Ophiopogon bodinieri*)和贯众等。

（3）麻栎群落

大金山岛的麻栎为人工栽植，分布在栈道两侧及营房周围，抗风性强。麻栎群落层次结构明显，乔木层平均高为 8 m，以麻栎、无患子(*Sapindus mukorossi*)和臭椿(*Ailanthus altissima*)为主，伴生有野桐；灌木层平均高 4.5 m，主要有小果蔷薇、小叶女贞、黄檀和海州常山，伴生有野葡萄和蛇葡萄；草本层物种较单一，以络石、鸭跖草和红盖鳞毛蕨(*Dryopteris erythrosora*)为主。

（4）黄檀群落

分布于岛体中部，林内干燥，有裸露的基岩。乔木层平均高度为 6.5 m，混生有野桐、朴树、楝和椿叶花椒等；灌木层平均高为 2.5 m，小果蔷薇和小叶女贞优势度显著，同时层外分布野葡萄和蛇葡萄等；草本层有酢浆草、鸭跖草、络石和滨海前胡(*Peucedanum japonicum*)等。

（5）野桐群落

该群落类型分布面积较大，尤其在北坡、灯塔四周和栈道入口最为典型，处于演替中前期，林内较湿润。群落结构层次清晰，乔木层平均高 5 m，伴生有构树(*Broussonetia papyrifera*)、白檀(*Symplocos paniculat*)和小叶女贞等；灌木层平均高为 2.6m，伴生种有野葡萄(*Ampelopsis brevipedunculata*)。草本层常见酢浆草(*Oxalis corniculata*)、络石(*Trachelospermum jasminoides*)、海金沙(*Lygodium japonicum*)等。

2.1.2 常绿落叶阔叶混交林

该植被类型属于上海地区的典型地带性森林，大致有以下两个群落类型。①小叶女贞+野桐群落：分布在岛体东坡，群落可分为两层，乔木层平均高为 5.5 m，以黄连木和小叶女贞为优势种；灌木层平均高为 2.5 m，有白檀、天竺桂等；草本层除络石、红盖鳞毛蕨等常见种外，还有小叶女贞、白檀的幼苗。②青冈栎+野桐群落：该群落类型零星分布在岛体北坡，群落结构简单，树种单一。该林分可分为两层，乔木层平均高度 6 m，以野桐和青冈栎为优势种；灌木层以白檀为主，平均高度为 2.3 m。

2.1.3 常绿阔叶林

大金山岛的常绿阔叶林是上海市唯一存留的半自然地带性植被，主要类型包括青冈栎群落、红楠群落、天竺桂群落和樟群落。各群落特征如下：①青冈栎群落：分布在岛体东部和中部山脊及其北坡顶部，林内阴暗，岩石裸露。乔木层平均高为 7.7 m，青冈栎占绝对优势；灌木层平均高为 2.5 m，伴生有柃木、天竺桂、野桐、黄连木和小果蔷薇等；草本层主要有沿阶草、海金沙、络石等，同时有许多青冈栎幼苗。②红楠群落：集中在北坡地形较陡的坡面，林内阴湿，存有巨大岩石。群落结构层次非常明显，乔木层平均高为 12.5 m，有高大的

红楠；灌木层平均为 2.6 m，主要有小叶女贞、柃木、朴树和野桐等；草本层主要有芙蓉菊(*Crossostephium chinense*)、五节芒和红盖鳞毛蕨等。③天竺桂群落：分布面积较小，群落结构简单，物种单一。乔木层平均高为 6.5 m，天竺桂占绝对优势，混生有少量野桐；灌木层平均高为 2.9 m，柃木和白檀为优势种；几乎没有草本。④樟群落：在岛上呈小块分布，主要在东部坡面顶部。林分单一，乔木层平均高为 8 m，樟占绝对优势；没有灌木层，草本层平均高为 0.45 m，物种有络石、红盖鳞毛蕨等。

2.1.4 落叶阔叶灌丛

落叶阔叶灌丛分布在岛体脊线中部，受人类干扰较少。落叶阔叶灌丛以小果蔷薇为优势种，分布在南坡中部，林相较乱，植株稠密。灌木层平均高度为 2.8 m，伴生有乌桕、野桐、丝绵木、厚叶石斑木、海桐和金樱子。

2.1.5 常绿落叶阔叶混交灌丛

常绿落叶阔叶混交灌丛以海桐和野桐为优势种，分布于东坡近岸，受海风影响较大，土层较薄，长期处于灌丛状态。群落平均高 4.5 m，伴生丝绵木和乌桕等；草本层有芙蓉菊、酢浆草、石竹(*Dianthus chinensis*)和加拿大一枝黄花等。

2.1.6 常绿阔叶灌丛

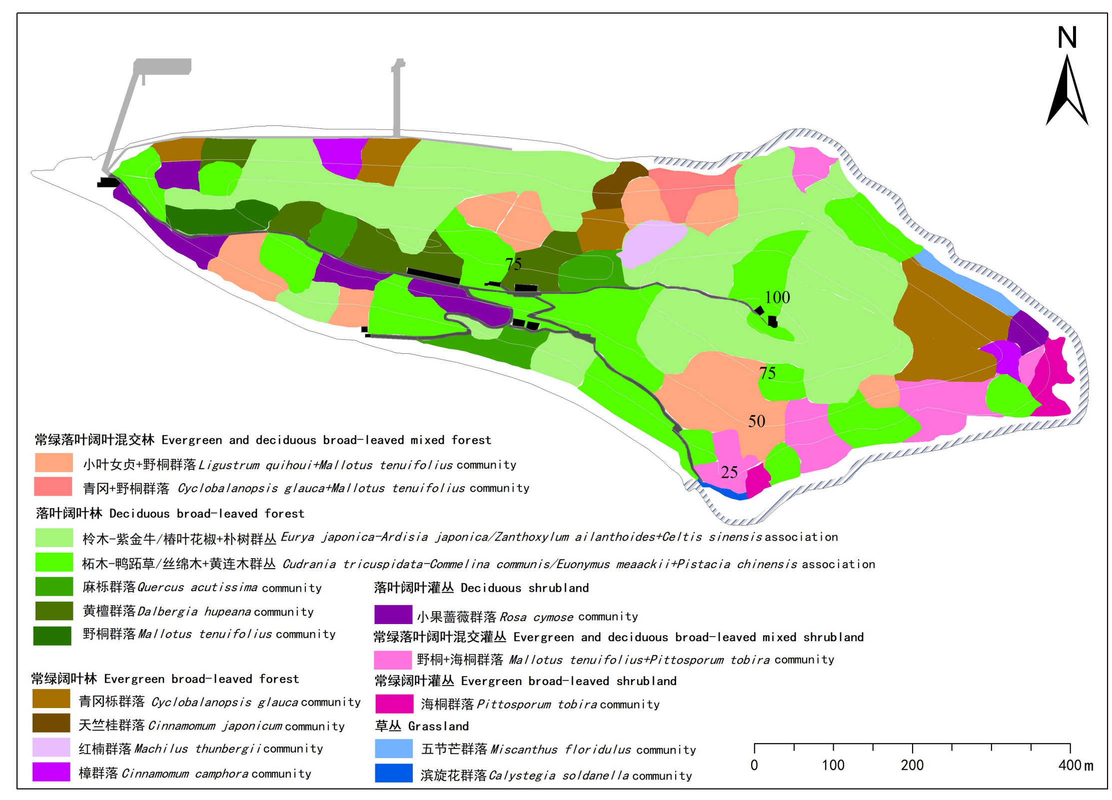
常绿阔叶灌丛主要以海桐群落为代表，分布在岛体东部近岸基岩，对恶劣生境有很好的适应性。群落结构比较简单，偶有乔木散生，植株生长密集。群落平均高度 1.6 m，伴生小果蔷薇、滨柃(*Eurya emarginata*)、厚叶石斑木等；草本层以络石、芙蓉菊、狗牙根为主。

2.1.7 草丛

大金山岛草丛类型分布不多，主要见于海边礁石附近，有五节芒草丛和滨旋花草丛。其中，五节芒草丛生长在东部山脚岩石附近，上层为五节芒，下层伴生山莓(*Rubus corchorifolius*)、白茅(*Imperata cylindrica*)等，也常见其他禾本科植物，一般平均高为 0.5 m。滨旋花草丛以滨旋花为优势种，伴生厚叶石斑木和芙蓉菊等，在南坡及北坡岩石附近均有分布。

2.2 大金山岛植被图

如图 2 所示，大金山岛形似蝌蚪，落叶阔叶林主要分布于山顶周围和北坡靠近尾部，以柃木-紫金牛/椿叶花椒+朴树群丛为主；麻栎和黄檀群落分布在下坡，该区域土壤较贫瘠，地形不稳定。常绿落叶阔叶混交林分布在南坡和北坡的山坳中，地势较陡，但土壤条件较好。常绿阔叶林分布在岛的东侧，地势较平坦，土壤肥沃；常绿阔叶灌丛有小果蔷薇群落，分布稀少，集中在南坡较陡的区域。常绿落叶阔叶混交灌丛集中在南坡端，岩石风化严重，土壤贫瘠，常年受大风侵袭，植被较矮。常绿阔叶灌丛海桐群落非常稀少，仅分布在岛体东侧小片区域。草丛极少，仅分布于岛边礁石周边。



注：图中数字为等高线。

Note: Number represents contour line in the vegetation map.

图 2 大金山岛植被类型

Fig.2 Vegetation types of Dajinshan Island

3 讨论与结论

3.1 大金山岛植被性质诊断

大金山岛是上海市物种多样性最高的区域，达到 1 470 种/km^2。其中，被子植物 72 科 267 种，苔藓植物 19 科 35 种，蕨类植物 14 科 26 种。根据这次基于网格化清查，发现大金山岛拥有华东海岛最典型、最多样的自然半自然森林群落，中生生境顶极群落为常绿落叶阔叶混交林，北坡湿润地段和山脊地段为常绿阔叶林。大金山岛还有华东海岛唯一的天然古树群落—红楠群落、丝绵木群落、椿叶花椒群落等。总体来看，地带性顶极植物群落多处于半原始状态，如红楠、椿叶花椒、朴树群落，但青冈栎林由于历史砍伐和猕猴干扰，处于萌生更新阶段，群落不稳定。天竺桂、小叶女贞、丝绵木处于干扰后的次生演替中后期阶段。与之相比，大金山岛绝大部分地段的植被处于演替中前期，野桐群落分布面积最大。

从植被结构和功能方面考虑，大金山岛植被也面临以下五个方面的生态问题：第一，地带性顶极植被加速消失。红楠群落、椿叶花椒群落、天竺桂群落、小叶女贞群落、樟群落等，由于修筑防波堤和猕猴干扰等影响而加速消失。通过对比 2000 年、2012 年、2018 年的植物调查结果（杨永川等，2002；达良俊等，2014），发现丝绵木-算盘子群落、黄檀群落、豆梨群落、黄连木群落和樟群落已经消失。第二，稀有种群加速消失。大金山岛有非常珍贵的稀有物种，但与前期调查相比，如野生樟、扁萼疣鳞苔(*Cololejeunea raduliloba*)等几乎消失殆尽，唯一的 1 株野生舟山新木姜子(*Neolitsea sericea*)由于山体崩塌而死亡。野生樟也只剩下为数不多的几株，且没有幼苗更新。天竺桂、红楠等稀有种群的规模在逐渐缩小。第三、次生灌丛严重影响植被质量。大金山岛因猕猴和人为干扰，植被演替进程过慢，林间布满藤本

和夹杂阳性树种，以及岛体东侧山坡布满金樱子，整体植被质量较低。第四、古树及其后续资源受损严重。大金山岛因常年受东南季风、台风、地质灾害影响，古树及其后续资源有枯死、断枝、树皮开裂的现象，且周边杂草丛生。第五、植物入侵现象依然存在。从调查结果来看，大金山岛面临毛竹、花竹、加拿大一枝黄花等入侵风险，尤其加拿大一枝黄花规模在扩大。

3.2 大金山岛植被分类的一些思考

本研究基于网格化清查方法，将大金山岛植被划分为 7 种植被型，15 种群丛或群落和 22 种演替阶段群落类型，基本精确揭示了大金山岛植被的全面特征和群落多样性。在本次分类中，将群丛和群落作为植被类型划分的基本单位，是以特征种、鉴别种（diagnostic species）或标志种（indicative species）为低级单位的分类依据。这与《美国植被分类规范》中的群丛定义基本相符（宋永昌，2011；宋永昌等，2013），也与宋永昌等（2017）所建议的将中国植被分类单位中的群丛修订为“层片结构相同，优势层片优势种相同，种类组成基本一致，并具有相同标志种组的群落联合”是完全相同的。这种强调标志种一致的划分方法可保证最小分类单位群丛具有一致的生态特征、生境条件和动态特点（宋永昌，2017）。以大金山岛分布面积最大的两大群丛类型为例，柃木-紫金牛/椿叶花椒+朴树群丛所包含的椿叶花椒群落、椿叶花椒+朴树群落、朴树+桑群落和朴树群落四种类型，虽然各群落物种组成比例不同，但椿叶花椒和朴树始终是各群落的优势层片，群落垂直结构基本相似，柃木始终是灌木层的优势种，草本层的紫金牛指示该群丛分布在潮湿生境。相类似，柘木-鸭跖草/丝绵木+黄连木群丛体现了在碱性土壤中，以不同比例丝绵木和黄连木为优势层片，以野桐为灌木优势种所形成不同群落类型。

本次植被分类还考虑了群落年龄在分类中的意义。以往，对于亚热带山地灌丛通常按其外貌划分为灌丛类型，但事实上，很多次生灌丛是时间演替序列上的森林幼林，隶属森林群落的早期时间序列类型（吴征镒，1980；孙小伟等，2018）。因此，本次植被分类特意就此问题就行了区别对待，将处于演替序列早期的次生灌丛划分为幼林，例如，丝绵木+野桐幼林和黄连木幼林。与之对照，对于确属典型生态意义，即：其外貌永远为灌丛的类型才划分为灌丛，在华东海岛，最具典型意义的灌丛并不是各森林演替阶段的前期类型，而是以海桐、滨柃等为优势种的常绿阔叶灌丛和以小果蔷薇、野桐等为优势种的落叶阔叶灌丛。

另外，本次研究所采用的网格化连续清查方法也为讨论植被群落的连续性和间断性问题提供了机会。通过比较本次和以往的大金山岛植被分类结果来看(程浚洋 2017)，基于网格化清查数据的植被分类结果基本可以充分反映植物群落连续性中存在间断性的客观事实，即在连续中也有间断（宋永昌等，2017）。对于森林植被而言，连续分布中的过渡群落是客观存在的（孙小伟等，2018）。从本研究可以发现，植被分类的基本单位群丛可以基本反映植被的连续性，即：在较大尺度，以若干优势种为优势层片所形成的群丛是保持连续的，但随微环境变化，优势物种组成比例，特别是灌木层物种组成会发生一定程度更替，从而形成不同的群落类型，甚至不同的群落年龄，从而反映了连续性中包含间断性的现象。同时，本研究也发现，在不同的连续群丛中也存在着过渡群落，例如，野桐群落等，这种群落的优势种由于适应性广，因此既可以参与组成其他群丛，又可以在特殊生境形成单优群落。由此可见，自然界中植物群落的连续性和间断性并不完全独立，而是相互兼容的。总之，基于网格化清查数据的植被分类研究启示我们，在未来的研究中，尽可能的全面调查有助于掌握一个地区植被的全貌和多样性。

致谢：感谢华东师范大学何东、尹芳、苏田、妥彬、郭超、刘翔宇、李亮等参与野外调查，此研究由“上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室开放课题基金资助。

参考文献

CAI YH, SONG ZY, LI YW, et al., 2016. A review and outlook of terrestrial and insular vegetation classification research in China [J]. Acta Oceanol Sin, 38(4): 95-108. [蔡燕红，宋振亚，李亚蔚，等，2016. 中国陆地与海岛植被分类研究综述与展望[J]. 海洋学报，38（4）：95-108.]

CHEN HJ, DU H, SONG TQ, et al., 2019. Numerical classification of associations and their stabilities of karst evergreen deciduous broad-leaved mixed forests in Mulun National Nature Reserve [J]. Biodivers Sci, 27(10): 1056-1068. [陈惠君，杜虎，宋同清，等，2019. 木论喀斯特常绿落叶阔叶混交林群丛数量分类及稳定性[J]. 生物多样性，27（10）：1056-1068.]

CHEN JY, 2017. Plant community types and functional diversity of islands forests in Eastern China [D]. Shanghai: East China Norm Univ. [程浚洋. 2017. 中国东部海岛植物群落类型与功能多样性[D]. 上海：华东师范大学.]

DA LJ, YANG YC, CHEN YP, 2014. The diversity of plant community on Dajinshan Island，Shanghai [J]. J Chin Urban For, 2(3): 20-25. [达良俊，杨永川，陈燕萍. 2014. 上海大金山岛的自然植物群落多样性[J]. 中国城市林业，2（3）：20-25.]

DING T, NING SJ, SU ZM. 2011. Classification system and characteristics of evergreen broad-leaved forest in Guangxi Province Region [J]. Guihaia, 31(6): 764-769. [丁涛，宁世江，苏宗明. 2011. 广西常绿阔叶林分类系统及特点[J]. 广西植物，31（6）：764-769.]

JENNINGS MD, FABER LD, LOUCKS OL, et al., 2009. Standards for associations and alliances of the US natural vegetation classification [J]. Ecol Monogr, 79(2): 173-199.

JIN YL, LI BC, GENG L, et al., 2017. Soil fauna community in different natural vegetation types of Dajinshan Island, Shanghai [J]. Biodivers Sci, 25(03): 304-311. [靳亚丽，李必成，耿龙，等，2017. 上海大金山岛不同植被类型下土壤动物群落多样性[J]. 生物多样性，25(03)：304-311.]

SONG YC. 2011. Recognition and proposal on the vegetation classification system of China [J]. Chin J Plant Ecol, 35(8): 882-892. [宋永昌. 2011. 对中国植被分类系统的认知和建议. 植物生态学报，35(8)：882-892.]

SONG YC. 2017. Vegetation Ecology(Second Edition)[M]. Beijing: Higher Educ Press. [宋永昌. 2017. 植被生态学（第二版）[M]. 北京：高等教育出版社.]

SONG YC, YAN ER, SONG K. 2017. An update of the vegetation classification in China [J]. Chin J Plant Ecol, 41(2): 269-278. [宋永昌，阎恩荣，宋坤. 2017. 再议中国的植被分类系统[J]. 植物生态学报，41(2)：269-278.]

SONG YC, WANG XH, YAN ER. 2013. Evergreen broad-leaved forests in China-classification, ecology, conservation [M]. Beijing: Sci Press. [宋永昌，王希华，阎恩荣. 2013. 中国常绿阔叶林—分类，生态，保育[M]. 北京:科学出版社.]

SUN XW, YANG QS, LIU HM, et al., 2018. Classification of plant associations based on a 20 hm^2 dynamics plot of evergreen broad-leaved forest in Mt. Tiantong, Zhejiang, China [J]. Chin J Plant Ecol, 42(05): 550-561. [孙小伟，杨庆松，刘何铭，等，2018. 基于浙江天童 20 hm^2 常绿阔叶林动态监测样地的群丛划分. 植物生态学报，42(05)：550-561.]

TAO C, CHEN YK, YANG XB, et al., 2014. Quantitative classification and ordination of vegetations in Tongguling National Nature Reserve, Hainan [J]. Chin Agr Sci Bull, 30(22): 84-91. [陶楚，陈玉凯，杨小波，等，2014. 海南铜鼓岭国家级自然保护区植被数量分类与排序[J]. 中国农学通报，30(22)：84-91.]

TIAN GH, HUANG KY, LI Z, et al., 2015. Vegetation classification system and characteristics of main plant communities in Zhuhai City [J]. Guangdong For Sci Technol, 31(2): 15-21. [田广红，黄康有，李贞，等，2015. 珠海市植被分类系统和主要植物群落特征[J]. 广东林业科技，31(2)：15-21.]

WANG WS. 2017. Vegetation resources and protection strategies of Dajinshan Island in Shanghai [J]. Ocean Dev Manage, 34(6): 40-45. [王万胜. 2017. 上海大金山岛植被资源状况及保护对策[J]. 海洋开发与管理，34(6)：40-45.]

WU ZY. 1980. Chinese Vegetation [M]. Beijing: Science Press. [吴征镒. 中国植被[M]. 北京：科学出版社.]

XU MS, ZHAO CL, LIU XY, et al., 2018. Vegetation regionalization scheme in Putuo Island，Zhejiang Province [J]. J Zhejiang A & F Univ, 35(04): 657-663. [许洺山，赵慈良，刘翔宇，等，2018. 浙江普陀山岛植被区划方案[J]. 浙江农林大学学报，35(04)：657-663.]

YAN ER, ZHAO CL, HU JF. 2017. Vegetation in Putuo Island — Type, Structure, Function and Management [M]. Beijing: Science Press. [阎恩荣，赵慈良，胡军飞. 2017. 普陀山植被—类型、结构、功能、管护[M]. 北京：科学出版社.]

YANF YC, DA LJ, QIN XK, 2002. A Study on the Flora of Dajinshan Island in Shanghai, China [J]. J Wuhan Bot Res, 20(6): 433-437. [杨永川，达良俊，秦祥堃. 2002. 上海大金山岛种子植物区系的研究[J]. 武汉植物学研究，20(6)：433-437.]

YANG ZZ, LÜ XT, SONG YT, et al., 2017. A comparative study on the classification methods of grassland plant communities: A case of Hulunbuir grassland [J]. Chin J Ecol, 36(8): 2375-2384. [杨筑筑，吕晓涛，宋彦涛，等，2017. 草原植物群落分类方法的比较研究—以呼伦贝尔草原为例[J]. 生态学杂志，36(8)：2375-2384.]

YE T. 2014. The research on species diversity composite index [D]. Master's thesis of Cent South Univ For Technol. [叶涛. 2014. 物种多样性综合指数研究[D]. 中南林业科技大学硕士学位论文.]

ZHANG F, ZHANG JT. 2000. Research progress of numerical classification and ordination of vegetation in China [J]. J Shanxi Univ (Nat Sci Ed), 23(3): 278-282. [张峰，张金屯. 2000. 我国植被数量分类和排序研究进展[J]. 山西大学学报(自然科学版)，23(3)：278-282.]

ZHANG XL. 2007. The study on classification technology of forest vegetation in Beijing mountain area [D]. Beijing: Beijing Forestry University. [张晓丽. 2007. 北京山区森林植被分类技术研究[D]. 北京：北京林业大学.]

ZHU CL, HAN YJ, XIE JZ, et al., 2008. Investigation and analysis of forest communities in Dajinshan Island, Shanghai [J]. Chin For Sci Technol, 22(6): 57-59. [朱春玲，韩玉洁，谢锦忠，等，2008. 上海大金山岛森林群落调查与特征分析[J]. 林业科技开发，22(6)：57-59.]